

# ジャイロセンサの応用技術修得

第三技術室システム制御技術班 辻 正 晴

## 1. はじめに

ロボット、無人搬送車などにおいて、自己の現在位置、方角を知ることが重要である。ジャイロセンサは角速度(rad/s or deg/s)を検出するセンサであるが、角速度を時間軸で積分すると角度を求めることが出来る。本研修ではジャイロセンサからのアナログ出力電圧をマイコンに取り込み角度を知ることがを目的とした。

## 2. ジャイロセンサ

研修で用いたジャイロセンサはシリコンセンシングシステムズのCRS03-02で、一般用の中精度のものである。測定範囲  $\pm 100(\text{deg/sec})$ 、感度  $20\text{mV}/(\text{deg/sec})$ で、出力電圧 $V_o$ は次式で表される。

$$V_o = V_{dd}/2 + (R_a * SF * V_{dd}/5)$$

$V_{dd}$  : 電源電圧(V)、 $R_a$  : 角速度(deg/s)、 $SF$  : 感度(V/(deg/s))

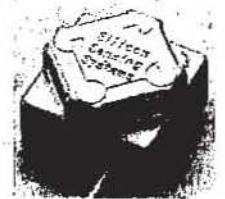
ここで、 $V_{dd}=5\text{V}$ 、 $SF=0.02\text{V}$ とすると、角速度 $R_a$ は、

$$R_a = 50 * V_o - 125$$

となり、これを、10bit A/Dコンバータ値で表すと次式となる。AD : AD変換値

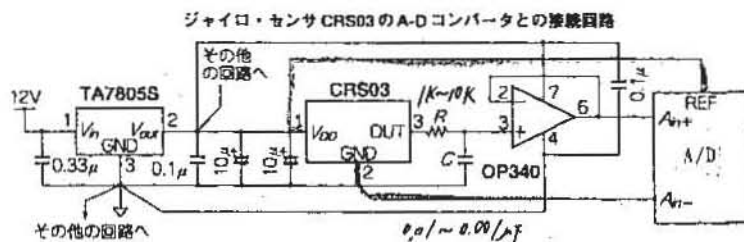
$$R_a = 125 * AD / 512 - 125$$

ジャイロセンサは偏光顕微鏡の回転ステージに取付け、出力電圧はRCフィルタ、バッファを通して、ワンチップマイコンH8/3052F(ルネサステクノロジ)の内蔵10bit A/Dコンバータで取り込んだ。



CRS03 [矽シリコン センシング システムズ ジャパン]

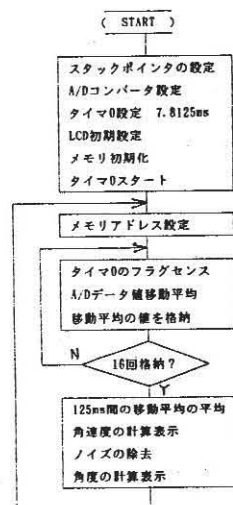
## 3. 回路図



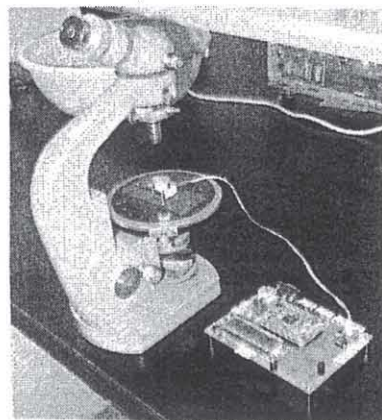
## 4. プログラム

A/Dコンバータからのデータ取り込みは7.8125ms毎のタイマフラグセンスで前16回の移動平均を求め、更に移動平均16回の平均をデータとした。これは125ms間の角速度値のデータとなるが、計算式で125ms間の感度 $SF$ を $SF/8$ と分子に置けば、結果として8倍の角速度と計算されるため、実際にはこれを1/8したものが真の角速度となる。しかし、これでは角度の表示が粗く表示されるため、プログラムでは8倍の角速度を1.25倍して10倍表示としている。つまり、1度を10と表示し、0.1度まで表示可能としている。

## フローチャート



## 概観図



## 5. ノイズの除去

角度は角速度の積分になるので、ノイズはドリフトとなって現れ、静止状態でも角度が移動することになる。ノイズの除去はジャイロセンサの出力に入れたRCフィルタやデータの移動平均でも十分に除去できないため、ノイズのパターンを認識して、ソフトで除去している。いま、パターンをデータが0以外の時を1とし、データが0の時を0とすると、最新データが0の時は5回前のデータを調べ、それが0であるならばその間の全データはノイズとして0にキャンセルする方法を用いた。この5回前は実験から求めたものである。これでも中4個、500ms間に出る信号はノイズとした。

ノイズパターン	OLD DATA	011110	NEW DATA
	OLD DATA	0xxxx0	NEW DATA

これにより、角度のドリフトは無くなったが、ステップ状に小刻みに回転する場合は測定漏れになることも有りうるが、今回想定したロボットや無人搬送車ではそのような動きは少ないと思われるのでこの方法を有効とした。

## 6. まとめと課題

今回の研修ではH8内蔵の10ビットA/Dコンバータを用いたが、メーカーの推奨は14～16ビットとなっており、変換誤差も考慮すれば16ビットのA/Dコンバータが必要と思われる。また、プログラムではA/D変換値より角速度を計算した後、その角速度値の累積より角度を求め、ノイズの除去を行ない現在の角度としているが、これではA/D変換器誤差と計算による丸め誤差が累積してしまうので問題が多い。ここではやはり、A/D変換値の積分値を基準にノイズの除去を行い、その都度角度の計算をするべきであった。こうすれば、誤差はA/D変換器の分解能と変換誤差のみとなり、計算による丸め誤差の蓄積は除かれより精度が上がったと思われる。また、ノイズの除去は、今回行ったパターン認識による一元的なものではなく、多元的な考察をすることにより、ノイズ信号とステップ状の小刻みな回転による信号の判別もする必要があり、今後の課題となった。

ジャイロセンサはノイズやドリフトの処理、また傾きや振動による誤差などいろいろと考慮しなければならない点が多いが、加速度センサと共用することにより、比較的簡単に現在位置情報を知ることができるので、ロボットや無人搬送車などでの実用を試みたいと思っている。

おわりに、本研修の機会を与えて頂きました、関係各位に厚く御礼を申し上げます。

## [参考文献]

シリコンセンシングシステムズ：「CRS03-02仕様書SST-0011A」

北村透他：「モーション/ジャイロ・センサの使い方」トランジスタ技術 2000.11



```

1  ;H8-3052F, 25MHz (crs03g.src) 2006.03.01
2  ;*****
3  *   ジャイロセンサ(CRS03-02)による角度表示プログラム (CRS03G.SRC) *
4  *   ジャイロセンサの出力を、A/Dコンバータで7.8125ms毎のフラグセンスで *
5  *   測定し、16回の移動平均の角速度の増算より角度を求める。(算術演算) *
6  ;*****
7
8  .CPU 300HA ;CPUの指定
9  .INCLUDE "3048equ.h"
10 .SECTION VECT.CODE,LOCATE=H'000000 ;セクションの宣言
11 .DATA, L, INIT ;START VECTOR
12 ;-----シンボルの定義-----
13 LCD_D EQU H'FFEF12 ;LCDに転送するデータ16ビットを一時入れるRAMの番地
14 LCD162 EQU H'FFEF14 ;LCD表示16文字2行分のデータを入れておくRAM番地
15 RINGX EQU H'FFEF50 ;RING MEMORY POSITION Y
16 RINGX EQU H'FFEF54 ;RING MEMORY POSITION X
17 YDAT EQU H'FFEF60 ;
18 XDAT EQU H'FFEF62 ;
19 DATAVY EQU H'FFEF70 ;A/D DATA MEMORY
20 DATAVX EQU H'FFEF90 ;AVERAGE DATA MEMORY
21 KAKUSO EQU H'FFEFB0 ;KAKUSOKUDO
22 KAKUDO EQU H'FFEFB2 ;KAKUDO
23 DAT0 EQU H'FFEFB4 ;DATA0
24 DAT1 EQU H'FFEFB6 ;DATA1
25 DAT2 EQU H'FFEFB8 ;DATA2
26 DAT3 EQU H'FFEFBA ;DATA3
27 DAT4 EQU H'FFEFBC ;DATA4
28 DAT5 EQU H'FFEFBE ;DATA5
29
30 .SECTION PROG.CODE,LOCATE=H'000100 ;コードセクションの宣言
31 INIT: MOV L #H'FFFF00, ER7 ;スタックポインタの初期番地を設定する
32 MOV W #H'00, R0
33 MOV B ROL, @PADDR ;PA4-TIOCA1(X), PA6-TIOCA2(Y)
34 MOV B #H'FF, ROL
35 MOV B ROL, @PADDR ;P45-P40, LCD PORT, P47-CLOCK
36 MOV W #H'0000, R0 ;AND(P7-0), 256 STATE
37 MOV B ROL, @ADCSR ;A/D INIT
38 MOV W R0, @KAKUSO
39 MOV W R0, @KAKUDO
40 MOV W R0, @DAT0
41 MOV W R0, @DAT1
42 MOV W R0, @DAT2
43 MOV W R0, @DAT3
44 MOV W R0, @DAT4
45 MOV W R0, @DAT5
46 MOV B #H'23, ROL
47 MOV B ROL, @TCR0
48 MOV B #H'00, ROL
49 MOV B ROL, @TIOCR0
50 MOV B #H'00, ROL
51 MOV B ROL, @TIER0
52 MOV W #24414, R0 ;0.04*8*24414*7.8125ms
53 MOV W R0, @GRA0
54 JSR @LCDINI42
55
56
57 ;-----MAINルーチン-----
58
59 DATACQ: MOV B #16, ROL ;初回データ読み込み16回平均
60 MOV L #DATAVY+32, ER3 ;A/D DATA MEMORY
61 MOV L #DATAVX+32, ER4 ;AVERAGE DATA MEMORY
62 MOV W #521, R2 ;REAL AVERAGE
63 DATSET: MOV W R2, @-ER3
64 MOV W R2, @-ER4
65 DEC B ROL
66 BNE DATSET
67 MOV B #H'01, ROL ;TCNT0 START
68 MOV B ROL, @TSTR
69
70 RING0: MOV L #DATAVY+30, ER3
71 MOV L #DATAVX+30, ER4

```

```

72 MOV L ER3, @RINGY
73 MOV L ER4, @RINGX
74 RING: BTST #0, @TSR0
75 BEQ RING
76 MOV B @TSR0, R0H ;DUMMY
77 BCLR #0, @TSR0
78 MOV L @RINGY, ER3
79 MOV L @RINGX, ER4
80 ADSTA: BSET #5, @ADCSR ;A/D START
81 AD0EN: BTST #7, @ADCSR ;EOC
82 BEQ AD0EN
83 MOV W #0, R2
84 MOV W @ADDRA, R2
85 MOV B @ADCSR, R0H ;DUMMY
86 BCLR #7, @ADCSR ;ADF CLEAR
87 SHLR W R2 ;*32
88 SHLR W R2 ;*16
89 SHLR W R2 ;*8
90 SHLR W R2 ;*4
91 SHLR W R2 ;*2
92 SHLR W R2 ;*1
93 MOV W R2, @ER3 ;A/D DATA 7.8125ms
94 JSR @DATAY ;YDAT, 移動平均
95 MOV W @YDAT, R2
96 MOV W R2, @ER4 ;AVERAGE DATA 7.8125ms
97 MOV W #H'0205, R5 ;
98 JSR @FLXDSP ;移動平均値表示
99 SUBS #2, ER3 ;リングメモリアドレス更新
100 MOV L ER3, @RINGY
101 SUBS #2, ER4
102 MOV L ER4, @RINGX ;NEXT MEMORY POSITION
103 CMP L #DATAVX, ER4
104 BHS RING
105 JSR @DATAX ;XDAT 125ms
106 MOV W @XDAT, R2
107 MOV W #H'1205, R5 ;
108 JSR @FLXDSP ;移動平均の平均値表示
109 MOV W R2, R2 ;角速度の10倍値計算へ
110 BEQ ZLP0
111 MOV W #156, R0 ;125*1.25
112 MULXS W R0, ER2 ;/2
113 SHAR L ER2 ;/4
114 SHAR L ER2 ;/8
115 SHAR L ER2 ;/16
116 SHAR L ER2 ;/32
117 SHAR L ER2 ;/64
118 SHAR L ER2 ;/128
119 SHAR L ER2 ;/256
120 SHAR L ER2 ;/512
121 SHAR L ER2
122 MOV W #158, R1 ;158.75 adjust
123 SUB W R1, R2 ;-158*-125*1.25
124 BRA ZLP1
125 ZLP0: MOV W #158, R2
126 ZLP1: MOV W R2, @KAKUSO
127 MOV W #H'0805, R5 ;KAKUSOKUDO
128 JSR @FLXDSS ;角速度の10倍値表示
129 MOV W @KAKUSO, R6 ;角速度の10倍値
130 MOV W @KAKUSO, R5 ;角速度の10倍値
131 MOV W @DAT1, R0 ;ノイズの除去
132 MOV W R0, @DAT0
133 MOV W @DAT2, R1
134 MOV W R1, @DAT1
135 MOV W @DAT3, R2
136 MOV W R2, @DAT2
137 MOV W @DAT4, R3
138 MOV W R3, @DAT3
139 MOV W @DAT5, R4
140 MOV W R4, @DAT4
141 MOV W R5, @DAT5 ;今回の角速度0?
142 MOV W R5, R5

```

crs03g.src Page 3

```

143 BNE ADLP1
144 MOV.W R0, R0      ;5 回前の角速度0?
145 BEQ SUB2
146 MOV.W R1, R1      ;NOISE DATA CANCEL
147 BEQ SUB1
148 MOV.W R2, R2
149 BEQ SUB0
150 MOV.W R3, R3
151 BNE ADLP2
152 SUB.W R4, R6
153 MOV.W #0, R4
154 MOV.W R4, @DAT4
155 BRA ADLP2
156 SUB0: SUB.W R3, R6
157 SUB.W R4, R6
158 MOV.W #0, R3
159 MOV.W R3, @DAT3
160 MOV.W R3, @DAT4
161 BRA ADLP2
162 SUB1: SUB.W R2, R6
163 SUB.W R3, R6
164 SUB.W R4, R6
165 MOV.W #0, R2
166 MOV.W R2, @DAT2
167 MOV.W R2, @DAT3
168 MOV.W R2, @DAT4
169 BRA ADLP2
170 SUB2: SUB.W R1, R6      ;KAKUDO-DATA1
171 SUB.W R2, R6      ;KAKUDO-DATA2
172 SUB.W R3, R6      ;KAKUDO-DATA3
173 SUB.W R4, R6      ;KAKUDO-DATA4
174 MOV.W #0, R1
175 MOV.W R1, @DAT1
176 MOV.W R1, @DAT2
177 MOV.W R1, @DAT3
178 MOV.W R1, @DAT4
179 BRA ADLP2
180 ADLP1: ADD.W R5, R6      ;角速度+角速度
181 ADLP2: MOV.W R6, @KAKUDO
182 MOV.W R6, R2
183 MOV.W #H'1B05, R5      ;KAKUDO
184 JSR @FLXDSS      ;10 倍された角度表示
185 JSR @LCDSP42
186 BRA RING0
187
188
189 -----サブルーチン-----
190 DATAY:      省略
191 DATA:      省略
192 LCDINI42:   省略
193 LCDSP42:    省略
194 FLXDSS:
195 PUSH.L ER0
196 PUSH.L ER1
197 PUSH.L ER2
198 PUSH.L ER3
199 PUSH.L ER4
200 PUSH.L ER5
201 MOV.W #0, R0
202 MOV.B R5H, R0L      ;DISPLAY POSITION (0-31, 0-1F)
203 EXTU.L ER0      ;EXTEND AS UNSIGNED
204 MOV.L #LCD162, ER4   ;表示数値データの先頭番地をER4にセットする
205 ADD.L ER0, ER4      ;LCD162 DISP POSITION
206 MOV.L ER4, ER0
207 SUBS #1, ER0
208 MOV.W R2, R2
209 BPL DEC6
210 NEG.W R2
211 MOV.B #H'20, R1L
212 MOV.B R1L, @ER0
213 BRA DEC7

```

crs03g.src Page 4

```

214 DEC6: MOV.B #H'20, R1L      ;SP
215 MOV.B R1L, @ER0
216 DEC7: MOV.W R2, R1
217 MOV.W #0, R0
218 MOV.B R5L, R0L      ;CHARACTER COUNT
219 EXTU.L ER0
220 ADD.L ER0, ER4      ;LCD162+DISPOS1+CHARACTER COUNT
221 DEC8: MOV.B R1H, R2L      ;2 進10進変換開始, R1H, R2Lへ
222 MOV.B #10, R0L      ;R0Lに10をセット, R2を符号拡張し16ビットにして
223 EXTS.W R2      ;R2+10を16ビットで行う。商がR2Lに
224 DIVXS.B R0L, R2      ;余りがR2Hに入る
225 MOV.B R2H, R1H      ;この余りをR1Hに戻す
226 DIVXS.B R0L, R1      ;R1+10を16ビットで行う、商がR1L, 余りがR1Hに入る
227 MOV.B R2L, R2H      ;前回の商をR2Hに転送
228 MOV.B R1L, R2L      ;今回の商をR2Lに転送
229 MOV.B R1H, R3L      ;余りをR3Lに入れる
230 ADD.B #H'30, R3L      ;H'30加算で10進→アスキーコード変換
231 MOV.B R3L, @-ER4      ;結果をRAMに格納
232 MOV.W R2, R1
233 DEC.B R5L      ;下位桁の計算準備
234 BNE DEC8      ;セットした文字数から1を引く
235 POP.L ER5      ;文字数が0になるまでDEC5ヘジャンプを繰り返す
236 POP.L ER4
237 POP.L ER3
238 POP.L ER2
239 POP.L ER1
240 POP.L ER0
241 RTS
242
243 -----文字データ-----
244 ALIGN 2
245 SECTION LCDDATA, DATA, LOCATE=H'001000
246 MOJ1: SDATA "A=00000 R= 00000"      ;A: 移動平均値, R: 角速度
247 SDATA "B=00000 D= 00000"      ;B: 移動平均の平均値, D: 角速度
248
249 .END

```